

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09178922  
PUBLICATION DATE : 11-07-97

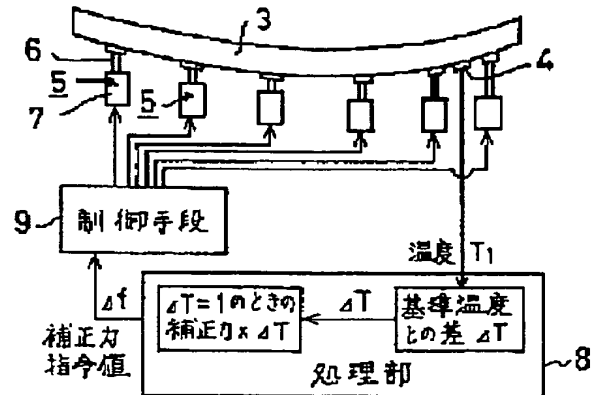
APPLICATION DATE : 24-01-97  
APPLICATION NUMBER : 09011749

APPLICANT : MITSUBISHI ELECTRIC CORP;

INVENTOR : MIKAMI IZUMI;

INT.CL. : G02B 5/10 H01Q 15/14 H01Q 15/16

TITLE : REFLECTION MIRROR ANTENNA SYSTEM



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the spread of image by correcting thermal deformation generated at a reflection mirror antenna by driving an actuator provided on the rear side of reflection mirror antenna.

SOLUTION: Concerning a reflection mirror antenna 3, plural partial mirror members are arranged according to the levels of their average linear expansion coefficients or the respective partial mirror members are arranged in the order of change rate levels of their linear expansion coefficients in thickness direction. An actuator 5 impresses force to the partial mirror members by stretching and compressing its driving shaft 6 through a driving part 7 while fixing one end of that driving shaft 6 on the rear surface of the reflection mirror antenna 3. Concerning a processing part 8, the temperature  $\Delta T$  of the reflection mirror antenna 3 is inputted from a temperature sensor 4, temperature difference  $\Delta T$  from a reference temperature is calculated and while using this temperature difference  $\Delta T$ , a command value  $\Delta f$  of correction force for each actuator 5 is operated and outputted to an actuator controller 9.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-178922

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 5/10			G 0 2 B 5/10	B
H 0 1 Q 15/14			H 0 1 Q 15/14	Z
15/16			15/16	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-11749  
 (62) 分割の表示 特願平3-35270の分割  
 (22) 出願日 平成3年(1991)2月5日

(31) 優先権主張番号 特願平2-215510  
 (32) 優先日 平2(1990)8月15日  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平2-324244  
 (32) 優先日 平2(1990)11月26日  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 佐々木 亜紀  
 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
 株式会社通信機製作所内

(72) 発明者 三神 泉  
 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
 株式会社通信機製作所内

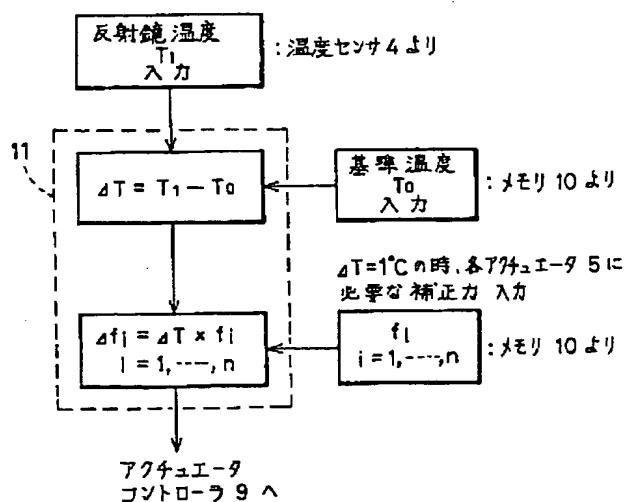
(74) 代理人 弁理士 田澤 博昭 (外1名)

(54) 【発明の名称】 反射鏡アンテナ装置

(57) 【要約】

【課題】 複数個の部分鏡材を貼り合わせて作る反射鏡アンテナで、部分鏡材の線膨張係数の不均一性により反射鏡アンテナ全体に不均一な熱変形が生じる。

【解決手段】 あらかじめ平均線膨張係数の大きさを測定しておいた複数個の部分鏡材を、その平均線膨張係数の大きさの順に互いに隣接させて、渦巻き状、あるいは一端から他端へ向かうライン状であって互いに隣接するライン間において前記平均線膨張係数の大きさの順に配設し、互いを接合して構成された反射鏡アンテナと、前記反射鏡アンテナの裏面側に複数個配置され、その駆動によって、前記反射鏡アンテナに生じた熱変形を補正するアクチュエータとを備えたものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 あらかじめ平均線膨張係数の大きさを測定しておいた複数個の部分鏡材を、その平均線膨張係数の大きさの順に互いに隣接させて、渦巻き状、あるいは一端から他端へ向かうライン状であって互いに隣接するライン間において前記平均線膨張係数の大きさの順に配設し、互いを接合して構成された反射鏡アンテナと、前記反射鏡アンテナの裏面側に複数個配置され、その駆動によって、前記反射鏡アンテナに生じた熱変形を補正するアクチュエータとを備えた反射鏡アンテナ装置。

【請求項2】 あらかじめ厚さ方向における線膨張係数分布から変化率の大きさを測定しておいた複数個の部分鏡材を、その変化率の大きさの順に互いに隣接させて、渦巻き状、あるいは一端から他端へ向かうライン状であって互いに隣接するライン間において前記変化率の大きさの順に配設し、互いを接合して構成された反射鏡アンテナと、前記反射鏡アンテナの裏面側に複数個配置され、その駆動によって、前記反射鏡アンテナに生じた熱変形を補正するアクチュエータとを備えた反射鏡アンテナ装置。

【請求項3】 複数個の部分鏡材をその線膨張係数に基づいて配置し、それを互いに接合して構成した反射鏡アンテナと、前記反射鏡アンテナの裏面側に配置され、前記反射鏡アンテナに対して力を印加する複数個のアクチュエータと、前記反射鏡アンテナまたはその近傍に設けられ、前記反射鏡アンテナの温度を測定する温度測定手段と、前記反射鏡アンテナが所定の形状を呈するときの所定温度を記憶するとともに、この所定温度と前記反射鏡アンテナの温度との温度差が単位温度のとき、前記反射鏡アンテナを前記所定の形状に補正すべく、前記各アクチュエータに印加する補正力を記憶する記憶手段と、前記温度測定手段からの温度と前記記憶手段からの前記所定温度との温度差を算出し、前記記憶手段からの補正力に基づいて、当該温度差に対する前記各アクチュエータに印加すべき補正力を演算する演算手段と、前記演算手段からの補正力を対応する前記アクチュエータに供給して、前記アクチュエータを駆動させる制御手段とを備えた反射鏡アンテナ装置。

【請求項4】 反射鏡アンテナと、前記反射鏡アンテナの裏面側に設けられ、前記反射鏡アンテナに対して力を印加してその形状を補正する複数のアクチュエータと、前記反射鏡アンテナの表面の変形を測定する変形測定手段と、前記変形測定手段で測定した変形量の測定値から、前記反射鏡アンテナの表面の変形をモード展開し、元の変形から前記アクチュエータで補正するモードを差し引いた残りの変形である残留変形を、あらかじめ指定された変形量以下とするために補正すべきモードを所定の順番に選出、前記アクチュエータに印加すべき補正力を演算する演算手段と、前記演算手段からの補正力を対応する前記アクチュエータに供給して、当該アクチ

ュエータを駆動させる制御手段とを備えた反射鏡アンテナ装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、大型の反射望遠鏡などに用いられる反射鏡アンテナ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図19は従来の反射鏡アンテナ装置を示す説明図である。図において、1は鏡材の製作単位としてのブールであり、2はこのブール1を複数枚重ねて貼り合わせて作成した部分鏡材としてのスタックである。3はそのスタック2を複数個、例えば放物面、双曲面などの所定の凹面形状に配列して、隣接するスタック2を相互に貼り合わせて接合した反射鏡アンテナである。

【0003】次に動作について説明する。反射鏡アンテナ3の表面は前述の放物面、双曲面等の所定の凹面形状に、非常に高い精度で研磨され、天体からくる可視光線、赤外線などの電磁波を反射して、その焦点に当該天体の像を結像させる。

【0004】ここで、ブール1の線膨張係数は零ではないため、温度が変化すると反射鏡アンテナ3には熱変形が生じる。反射鏡アンテナ3全体の線膨張係数が均一であれば、反射鏡アンテナ3は相似形に変形するため、天体からの電磁波は本来の焦点と相似な位置に集光されて、その天体の像を結像する。しかしながら、現実には線膨張係数には不均一性が存在し、この不均一性による熱変形は、反射鏡アンテナ3の表面を歪ませ、結像性能の劣化を引き起こす。

【0005】そこで、スタック2を作成する際、あらかじめ測定されたブール1の厚み方向の線膨張係数の変化率データに基づいてブール1を組み合わせ、その平均の変化率を零に近くする。すなわち互に変形を相殺しあうと考えられるブール1を組み合わせることでスタック2を構成する。これにより、各スタック2の熱変形は低減される。また、反射鏡アンテナ3は、このようなスタック2を無作為に配置して構成される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の反射鏡アンテナ装置は以上のように構成されているので、残存している厚み方向の線膨張係数の変化率の各スタック2間での不均一性や、各スタック2の平均線膨張係数の不均一性によって、反射鏡アンテナ3全体に不均一な熱変形が生じるという課題があった。

【0007】この発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、反射鏡アンテナの熱変形を補正しやすい比較的簡単なパターンになるようにコントロールし、生じた熱変形をアクチュエータによって補正し、像の広がりや軽減する反射鏡アンテナ装置を得ることを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明に係る反射鏡アンテナ装置は、複数個の部分鏡材における平均線膨張係数の大きさをあらかじめ測定しておき、これら平均線膨張係数の大きい順に互いに隣接して、各部分鏡材を渦巻き状、あるいは一端から他端に向かうライン状であって、互いに隣接するライン間において平均線膨張係数の大きさの順に配設して反射鏡アンテナを構成し、この反射鏡アンテナの裏面側に設けたアクチュエータの駆動によって前記反射鏡アンテナに生じた熱変形を補正するようにしたものである。

【0009】請求項2記載の発明に係る反射鏡アンテナ装置は、複数個の部分鏡材の厚さ方向における線膨張係数分布から変化率の大きさをあらかじめ測定しておき、これら変化率の大きさの順に互いに隣接して、各部分鏡材を渦巻き状、あるいは一端から他端に向かうライン状であって、互いに隣接するライン間において前記変化率の大きさの順に配設して、反射鏡アンテナを構成し、この反射鏡アンテナの裏面側に設けた複数個のアクチュエータの駆動によって前記反射鏡アンテナに生じた熱変形を補正するようにしたものである。

【0010】請求項3記載の反射鏡アンテナ装置は、複数個の部分鏡材をそれらの線膨張係数に基づいて配置して反射鏡アンテナを構成し、この反射鏡アンテナが所定の形状を呈するときの所定温度を記憶し、かつこの所定温度と前記反射鏡アンテナの温度との差が単位温度のときに、前記反射鏡アンテナの裏面側に設けた複数個のアクチュエータに印加すべき補正力を記憶する記憶手段を設け、温度測定手段によって測定された反射鏡アンテナの温度と、前記記憶手段からの所定温度との温度差を算出すると共に、記憶手段からの補正力の基づき、この温度差に対する補正力を演算手段によって演算し、当該補正力を対応するアクチュエータに印加して各アクチュエータの駆動を行い、反射鏡アンテナの熱変形を補正するものである。

【0011】請求項4記載の発明に係る反射鏡アンテナ装置は、反射鏡アンテナの表面の変形を測定する変形測定手段、および前記変形を補正するための複数個のアクチュエータを設け、演算手段にて、測定された前記変形量より反射鏡アンテナの表面の変形をモード展開し、残留変形をあらかじめ指定された変形量以下とするために補正すべきモードを所定の順番に選び出して補正力を演算し、当該補正力を対応するアクチュエータに印加して各アクチュエータの駆動を行い、反射鏡アンテナの変形を補正するものである。

## 【0012】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による反射鏡アンテナ装置の反射アンテナ部分を示す斜視図であ

る。図において、1はブール、2は部分鏡材としてのスタックであり、3は37個のスタック2を配列し、隣接するものの相互を貼り合わせて接合した反射鏡アンテナ装置である。これら各スタック2に付けられた番号“1”～“37”は各々の平均線膨張係数の大きさの順を示すものである。また、図には示されていないが、反射鏡アンテナ3の裏面には複数個のアクチュエータが取り付けられ、その押し引きにより反射鏡アンテナ3の変形を補正できるようになっている。

【0013】次に動作について説明する。反射鏡アンテナ3の結像鏡としての動作、および線膨張係数の不均一性による熱変形で結像性能の劣化を引き起こす点、熱変形を相殺し合うようなブール1の組み合わせでスタック2を構成する点については、従来の反射鏡アンテナ3の場合と同じであるので、説明は省略する。

【0014】スタック2は熱変形を相殺し合うようなブール1の組み合わせで構成されているとはいえ、厚み方向の線膨張係数の変化率はいくらかは残っており、この変化率は各スタック2の間でばらついている。また各スタック2の平均線膨張係数の間にも不均一性が存在する。

【0015】今、反射鏡アンテナ3の表面が所定の凹面形状に正しく設定されていたとしても、光の回折現象によって天体の星像は点にはならず、口径Dと波長λに基づく理論限界FWHM (Full Width at Half Maximum)を持つ。このFWHMは一般に、次式で現わされる。

【0016】

【数1】

$$\text{FWHM} = 1.02 \times \frac{\lambda}{D} [\text{rad}] = 2.1 \times 10^5 \frac{\lambda}{D} [\text{arcs}]$$

【0017】この理論限界FWHMは図2に示すように焦点面での星の像の光の強度分布における光の強度が1/2になる時の幅である。例えば、可視光(λ=0.5 μm)で反射鏡アンテナ1の直径が7.5 m、F比2の焦点では焦点面で1.02 μmとなる。

【0018】このように星像の大きさの理論限界FWHMは、口径Dと波長λで決まり、口径Dが大きくなるほど小さくなり、また集光力が高まる。このため、従来より反射鏡アンテナ装置の改良として反射鏡アンテナ3の大口径化がなされてきた。

【0019】すなわち、反射鏡アンテナ3の大口径化は星像を小さくすることになり、分解能の向上、検出限界の向上、さらには露出時間の短縮のためにも重要な意義を有する。しかしながら、実際には反射鏡アンテナ3の形状はスタック2の熱膨張によって、例えば図3(a)に示すような熱変形が生ずる。このような熱変形が生ずると、星から入射される光は散乱され、星像は図3(b)に示すように強度分布が広がってぼやけた像とな

ってしまう。

【0020】ここに、焦点の強度 $I$ は波長 $\lambda$ と鏡面変形のRMS値( $\sigma$ )を用いて近似的に次式のように表わされる。

【0021】

【数2】

$$I = 10^{-68.6 \left( \frac{\sigma}{\lambda} \right)^2}$$

【0022】ただし、反射鏡アンテナ3の鏡面変形がないときの焦点強度を1.0とする。この関係は図4に示すようになる。これにより、結像性能を劣化させないために、鏡面変形は波長の数十分の1程度、すなわち可視光( $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ )の場合には $0.01 \mu\text{m}$ のオーダーに抑える必要がある。

【0023】しかるに、反射鏡アンテナ3を大口径化しても反射鏡アンテナ3の熱変形が大きいと、せっかくの大口径化の利点が生かせなくなり、また反射鏡アンテナ3を大口径化すると、各スタック2の線膨張係数のばらつきによって反射鏡アンテナ3の熱変形も大きくなり易い。

【0024】ここで、スタック2の線膨張係数CTE (Coefficient of Thermal Expansion)は次式のように定義される。

【0025】

【数3】

$$\text{CTE} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dT}$$

【0026】ただし、 $L_0$ は $0^\circ\text{C}$ における長さ、 $L$ は $T^\circ\text{C}$ における長さとする。これより、温度が $0^\circ\text{C}$ から $T^\circ\text{C}$ に変化したときの長さの変化量 $\Delta L$ は、 $\Delta L$ を $(L-L_0)$ 、 $\Delta T$ を $(T-0)$ とすると次式となり、どの方向にもこの割合で膨張する。

【0027】

【数4】

$$\Delta L = L_0 \times \text{CTE} \times \Delta T$$

【0028】従って、反射鏡アンテナ3の熱変形について、CTEが均一の場合には、どの方向にも $(1 + \text{CTE} \times \Delta T)$ 倍に膨張する。これは相似変形であり、焦点位置が相似の位置に移動するだけで一点に収束するという性質は変わらない。しかし実際には反射鏡アンテナ3を構成するスタック2間には線膨張係数CTEの不均一性が存在する。このため、反射鏡アンテナ3は部分的に伸びたり、縮んだりして鏡面に歪みが生じ、星像は一点に収束しなくなる。

【0029】次に、反射鏡アンテナ3のスタック2間で線膨張係数CTEのばらつきがある場合について説明する。ここで、反射鏡アンテナ3のスタック2間の線膨張係数のばらつきは、次の2種類に分けられる。

【0030】(1) 各スタック2の平均線膨張係数が各

スタック2間でばらつく場合である。反射鏡アンテナ3を構成する全てのスタック2の線膨張係数の平均と、所定のスタック2の平均線膨張係数との差をそのスタックの $\Delta\alpha$ と定義する。この $\Delta\alpha$ が各スタック2毎にばらついていると、各スタック2毎に曲率の変化の仕方が異なり、結果的に反射鏡アンテナ3の鏡面変形が生ずる。

【0031】(2) 各スタック2の厚さ方向の線膨張係数の変化率がスタック2間でばらつく場合である。スタックの厚さ方向には、図5に示すような線膨張係数CTEの分布が存在する。この線膨張係数分布を直線近似したときの直線の変化率の大きさを $\Delta\beta$ と定義する。この $\Delta\beta$ による変形は、バイメタルの変形であり、各スタック2の曲率が変化する。実際には、この曲率の変化がスタック2毎に異なることから、結果的に鏡面変形が生ずる。

【0032】このようにスタック2の変形には上述のように $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ が存在する。ところで、各スタック2の $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$ はそれぞれ異なった値を有するので、例えば各スタックの $\Delta\beta$ の値に着目して $\Delta\beta$ の値の大きい順番にある一定の配列を行うとき、 $\Delta\alpha$ の値はランダムな配列となる。しかし、 $\Delta\alpha$ による鏡面変形量が $\Delta\beta$ のそれに比べて十分小さい場合、 $\Delta\beta$ の値の大きい順番に配列の仕方をコントロールすることにより反射鏡アンテナ3の変形を所望のパターンで生じさせることができる。

【0033】図6(a)、(b)はそれぞれ $\Delta\beta$ の値の大きい順に一端部から他端部に向かって順次ライン状に配列して反射鏡アンテナ3を構成したものである。図6(a)、(b)に示す番号は各スタックの $\Delta\beta$ の値の大きい順番に示す。

【0034】図6(c)、(d)はそれぞれ周縁部から中心部へ、および中心部から周縁部へ向かって $\Delta\beta$ の値の大きい順に各スタックを配列したものである。その他、図6(e)に示すような配列の仕方も考えられる。

【0035】このように、各スタック2の $\Delta\beta$ の値の大きい順に図6(a)～(e)に示すような配列により反射鏡アンテナ3を構成すると、隣り合うスタック2同士が互いに押し引きして力を及ぼし熱変形が生ずるが、その熱変形は非常にゆるやかな、比較的簡単なパターンとなる。

【0036】例えば、図6(a)のような配列の場合、その変形パターンは図7(a)のようになり、また図6(c)のような配列の場合、その変形パターンは図7(b)のようになる。この図7(a)、(b)は反射鏡アンテナ3の各点における変形量 $\Delta Z$ が等しい点を結んだ等高線図である。

【0037】図7(a)では等高線は一方の周縁部の密度が高く、反対方向の周縁部の密度は低くなっており、また図7(b)では反射鏡アンテナ3の周縁部の密度は高く、その中央部の密度は低くなっている。例えば、図7(a)においてX-Xで切断したときの反射鏡アンテ

ナ3の断面形状は図8に示すようになる。

【0038】このように、図6(a)～(e)に示すようなスタック2の配列によって、反射鏡アンテナ3の全体の熱変形は比較的簡単なパターンとなる。このことは、反射鏡アンテナ3の熱変形をアクチュエータに用いて各スタック2に力を加えて補正する場合、アクチュエータの個数が少なくて済むことになる。

【0039】即ち、反射鏡アンテナ3の熱変形が図9(a)に示すような比較的簡単なパターンの場合と、図9(b)に示すような、そうでない場合とを比較すると明らかな如く、熱変形パターンが複雑になるほど多数のアクチュエータが必要となる。なお、図9(a)、(b)は反射鏡アンテナ3全体の断面形状を示している。

【0040】以上は、 $\Delta\beta$ による変形が $\Delta\alpha$ による変形より大きい場合について説明したものであるが、 $\Delta\alpha$ による変形が $\Delta\beta$ による変形より大きい場合も同様である。また、複数のスタック2のうち一部については $\Delta\beta$ による変形の方が $\Delta\alpha$ による変形より大きく、残りについては $\Delta\alpha$ による変形が $\Delta\beta$ による変形より大きい場合については、いずれの方のスタック2が多いかにより、 $\Delta\alpha$ または $\Delta\beta$ のいずれかに着目すれば良い。

【0041】以上のように、この実施の形態1によれば、複数の部分鏡材を平均線膨張係数の大きさに従って、あるいは各部分鏡材を厚さ方向の線膨張係数の変化率の大きさの順に配設することにより、反射鏡アンテナ全体としての熱変形パターンが比較的簡単なパターンを呈するようにし、少数のアクチュエータによって上記熱変形を補正することが可能な反射鏡アンテナ装置を実現する。

【0042】実施の形態2. 図10はこの発明の実施の形態2による反射鏡アンテナ装置を示す構成図である。図において、3は反射鏡アンテナで、複数のスタック2をその厚さ方向の線膨張係数分布を直線近似したときの変化率 $\Delta\beta$ に着目し、この $\Delta\beta$ の大きい順番に、例えば図6(a)～(e)に示すいずれかの配列をして所定の凹面形状に構成したものである。4は反射鏡アンテナ3の裏面側またはその付近に設けられた温度測定手段としての温度センサである。5はアクチュエータで、反射鏡アンテナ3の裏面にその駆動軸6の一端が固定され、駆動部7によってその駆動軸6を伸縮させてスタック2に力を印加するものである。8は処理部であり、9は処理部8からの補正力を対応するアクチュエータ5に供給して、当該アクチュエータ5の駆動を行う制御手段としてのアクチュエータコントローラである。

【0043】図11は、この発明の実施の形態2による反射鏡アンテナ装置に使用される処理部8を含んだブロック図であり、図12はそのフローチャートである。これら図11および図12において、10は記憶手段としてのメモリ、11は演算手段としてのCPUであり、前

記処理部8はこのメモリ10およびCPU11を含んでいる。メモリ10には反射鏡アンテナ3が所定の凹面形状、即ち理想の放物面状あるいは双曲面状などを呈するときの基準である基準温度 $T_0$ を記憶するとともに、あらかじめ求めておいた当該基準温度 $T_0$ と反射鏡アンテナ3の温度との温度差 $\Delta T$ が $1^\circ\text{C}$ のときに、熱変形した反射鏡アンテナ3を所定の凹面形状に補正する際に、各アクチュエータ5に対して印加すべき補正力を、各アクチュエータ5に対応して記憶している。

【0044】即ち、各アクチュエータ5に対応した補正力 $f_1, f_2, \dots, f_n$ は複数のスタック製造時に各スタック2の $\Delta\beta$ を測定しておき、これら $\Delta\beta$ のデータをもとにして上述のような配列でもって反射鏡アンテナモデルを作成し、後述するように予め有限要素法にて温度差 $\Delta T$ が $1^\circ\text{C}$ のときに、各アクチュエータ2に印加すべき補正力を求め、これをメモリ10に記憶しておく。

【0045】CPU11は、温度センサ4から反射鏡アンテナ3の温度 $T_1$ が入力され、メモリ10から基準温度 $T_0$ が入力されて、図12に示すように温度差 $\Delta T$ を算出すると共に、この温度差 $\Delta T$ を用いてメモリ10の記憶されている各アクチュエータ5に対応した補正力 $f_1, f_2, \dots, f_n$ を順次に取り出して、各アクチュエータに対する補正力の指令値を、次式にて演算してアクチュエータコントローラ9に出力する。

【0046】

【数5】

$$\Delta f_i = \Delta T \times f_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

【0047】一方、アクチュエータコントローラ9は、CPU11から供給された補正力の指令値 $\Delta f_i$ を受け、この指令値 $\Delta f_i$ はどのアクチュエータ5に印加すべきかを判定して、そのアクチュエータ5に該当する指令値 $\Delta f_i$ を供給するものである。この判定に当たっては、指令値 $\Delta f_i$ に番地を付加しておき、この番地を判別することにより該当するアクチュエータ5を選択すれば良い。

【0048】また、これらの指令値はそれぞれアクチュエータ5の駆動部7に伝達され、例えばその指令値にに応じた電流が流され、電磁力によってその指令値に対応した補正力を発生して該当するスタック2に力を印加するように構成されている。ここで、メモリ10に記憶する補正力 $f_1, f_2, \dots, f_n$ を有限要素法を用いて求める方法について説明する。反射鏡アンテナ3を構成する各スタック2の $\Delta\alpha$ または $\Delta\beta$ がわかれば、有限要素法を用いて、任意の温度変化に対する反射鏡の各点での熱変形量を計算することができる。今、 $m$ 個のスタック2から成る反射鏡アンテナ3を考え、図13に示すように各スタック2に番号をつけ、番号 $j$ のスタック2の $\Delta\alpha$ を $\Delta\alpha_j$ 、 $\Delta\beta$ を $\Delta\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ )と呼ぶ

ことにする。

【0049】有限要素法とは図14に示すように、鏡面を多数の微小要素に分け、各要素にヤング率、ポアソン比、線膨張係数などの植物値や荷重を与えて変形を計算するもので、最終的には、要素の各頂点（格子点）における変位を求めることができる。

【0050】一方、上記とは別に、有限要素法によれば、アクチュエータ点に印加した荷重と、アクチュエータ点における変形量とを結びつけるマトリックス（剛性マトリックス）を計算できる。この関係は各アクチュエータ点での変位を $\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n$ 、各アクチュエータ点に印加した荷重を $f_1, f_2, \dots, f_n$ 、 $n \times n$ の剛性マトリックスを $K$ とすると、次式のように表現できる。

【0051】

【数6】

$$\begin{pmatrix} \Delta Z_1 \\ \Delta Z_2 \\ \vdots \\ \Delta Z_n \end{pmatrix} = K \cdot \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix}$$

【0052】そこで、計算で求めた剛性マトリックス $K$ の逆マトリックス $K^{-1}$ を用いると、次式のように変形量から、その変形を生じさせるのに必要な荷重を求めることができる。

【0053】

【数7】

$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix} = K^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \Delta Z_1 \\ \Delta Z_2 \\ \vdots \\ \Delta Z_n \end{pmatrix}$$

【0054】そこで、上式右辺の $\Delta Z_j$ に、あらかじめ有限要素法で計算しておいた温度差 $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ のときに生じる熱変形量を代入すれば、そのような変形を生じさせるのに必要な力 $f_1, f_2, \dots, f_n$ が求まる。よってこの $f_1, f_2, \dots, f_n$ を逆向きにしたものが熱変形を相殺するのに必要な補正力である。このようにして $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ の時にアクチュエータに印加すべき補正力を求め、メモリ9に記憶する。

【0055】以上のように、この実施の形態2によれば、反射鏡アンテナが熱変形を起こしたときに、各アクチュエータに対応して単位温度に対する補正力を記憶手段に記憶しておき、反射鏡アンテナの温度を測定することによって各アクチュエータに実際に印加すべき補正力を演算手段にて演算し、制御手段にてその補正力を対応するアクチュエータに供給することにより、反射鏡アンテナの熱変形を自動的に補正でき、温度変化の激しい地域においても常に所定の凹面形状を維持することが可能な反射鏡アンテナ装置を実現する。

【0056】実施の形態3. 次に、図15はこの発明の実施の形態3による反射鏡アンテナ装置を示す構成図である。図において、3は反射鏡アンテナ、5はアクチュエータ、8はメモリ10および演算手段としてのCPU11を含んだ処理部、9は制御手段としてのアクチュエータコントローラであり、図10に同一符号を付したものと同一、もしくは相当部分であるため、詳細な説明は省略する。また、12は光の干渉、あるいは反射光のずれを検出して、前記反射鏡アンテナ3の表面の各点の変形を測定する変形測定手段としての鏡面変形測定装置である。

【0057】次に動作について説明する。まず、反射鏡アンテナ3の表面変形のモード展開について説明する。よく知られているように、弦の振動は、固有振動モードの重ね合わせと考えることができる。図16は弦の振動とその固有振動モードを説明した図である。このように各モード $\phi_k(x)$ 、 $k=1 \dots$ と振幅 $A_k$ 、 $k=1 \dots$ を求め、弦の振動 $\phi(x)$ を次式で示すそれらの和の形で表わすことを弦の振動をモード展開すると言う。

【0058】

【数8】

$$Z(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \{ A_k \cdot \phi_k(x) \}$$

【0059】表面変形のモード展開もこれと同様に考えることができる。展開に用いるモードはツェルニケ級数、2次元のフーリエ級数などの空間周波数の関数で表わされる無限項または有限項の級数、および固有振動モードなどがある。ここでは固有振動モードで展開する例について説明する。

【0060】図17は外周の等間隔の3点を固定した反射鏡アンテナ3の固有振動モードの等高線図の例である。これは反射鏡アンテナ3のモデルから有限要素法を用いて計算により求めることができる。各モードに付した番号はモード番号で、これの小さい順に空間周波数が小さく同じ最大振幅を得るのに必要な力が小さくてよいという性質がある。以下、モード番号の小さいモードを低次のモード、大きいモードを高次のモードと呼ぶ。

【0061】今、モード番号 $k$ のモードの変形パターンを $\phi_k(r, \theta)$ （ $r, \theta$ は鏡面上の位置の極座標表



示)と表わすことにすれば、鏡面変形 $\phi(r, \theta)$ は次式のように、各モードの重ね合わせで表わせる。

【0062】

【数9】

$$\phi(r, \theta) = \sum_{k=1}^{\infty} \{A_k \cdot \phi_k(r, \theta)\}$$

【0063】ここで、 $A_k$  はモード係数(各モードの振幅に対応)である。なお、展開法としては、変形測定値と各モードの内積をとる方法、最小自乗法でフィッティングする方法などがある。固有振動モードは各モードが直交しているので本質的にはどちらの方法も同じである。

【0064】先に述べたように、固有振動モードのおこりやすさはモード番号の順となっている。よって高次のモードは低次のモードに比べて起こりにくく、よって振幅は小さい。ところが表面変形測定値から直接変形を打ち消すような補正力を求めると、細かいピッチの変形、すなわち高次のモードも補正目標となるため、それを補正するために大きな補正力が必要となり、その割合には、もともと振幅が小さいので補正の効果が小さい。そ

$$\Delta Z_i = - \sum_{k=1}^N \{A_k \cdot \phi_k(r_i, \theta_i)\}, \quad i=1 \cdots n$$

【0069】この $\Delta Z_i$  は実際の変形 $\phi(r_i, \theta_i)$  から $N+1$  次以上の高次のモードを除いたものとなっている。ここで、変形補正量 $\Delta Z_i$  を補正力 $\Delta f_j$  に変換する $K^{-1}$  はあらかじめ前に述べた方法で求めておき処理部8のメモリ10に記憶しておくものとする。

【0070】従って、処理部8のCPU11はこのメモリ10に記憶されている変形補正量を補正力に変換する行列 $K^{-1}$  を呼び出し、それを求められた前記補正量 $\Delta Z_i$ ,  $i=1 \cdots n$  に乗じて各アクチュエータ5に対する補正力を演算し、それをアクチュエータコントローラ7へ出力する。

【0071】アクチュエータコントローラ9は、このCPU11から供給された補正力を受け、各アクチュエータ5に該当する指令値を供給する。各アクチュエータ5はその指令値に対応した補正力を発生して反射鏡アンテナ3に力を印加し、その変形を補正する。

【0072】このように残留変形があらかじめ指定した量以下となるために補正すべきモードを選び出して補正をかけるようにしたので、補正する必要のない空間周波数の高い変形の補正は行われず、従って補正に必要な力が小さくなる。また、表面変形をいったんモードに展開するため、測定値の一つがノイズなどによって誤った値として測定された場合でも、変形量をほぼ正しく推定することができ、正しい補正力を算出することができる。

【0073】以上のように、この実施の形態3によれば、反射鏡アンテナの表面変形量をモード展開し、残留

ここで、一旦モード展開を行い、変形の主要なモードだけを選択して補正を行えば小さい補正力で効率よく補正することができる。

【0065】図18はこの実施の形態3の処理部8における処理のフローチャートである。固有振動モードの場合、モードのパターンは関数形では求まらないので、反射鏡面上の各座標点における値として求め、処理部8内のメモリ10にモード番号、座標とともに記憶させる。

【0066】鏡面変形測定装置12から測定データが入力されると、処理部8のCPU11は、そのメモリ10からこのモードの値を呼び出し、最小自乗法を用いて補正すべきモードのモード係数 $A_k$  を算出する。次にCPU11は、このモード係数 $A_k$  と、モードの値を用いて各アクチュエータ点における変形補正量を計算する。

【0067】今、モード番号1から $N$ まで補正することにしていたとすると、まず、 $A_k$  を $k=1 \sim N$ まで求め、次に $i$  番目のアクチュエータ点における変形補正量 $\Delta Z_i$ ,  $i=1 \cdots n$  を次式にて求めることになる。但し、 $r_i$ ,  $\theta_i$  はアクチュエータ点 $i$ の極座標とする。

【0068】

【数10】

変形をあらかじめ指定された変形量以下とするために補正すべきモードを所定の順番に選び出して補正力を演算し、それに基づいてアクチュエータを駆動することにより、ノイズの影響を受けにくく、小さな力で効率よく変形の補正を行うことが可能な反射鏡アンテナ装置を実現する。

【0074】

【発明の効果】以上のように、請求項1および請求項2記載の発明によれば、平均膨張係数もしくは厚み方向の線膨張係数の変化率の大きさの順にスタックの配列を行って、発生する熱変形パターンが比較的簡単なパターンとなるように反射鏡アンテナを構成したので、少数のアクチュエータによって熱変形を補正することが可能な反射鏡アンテナ装置が得られる効果がある。

【0075】請求項3記載の発明によれば、検出した反射鏡アンテナの温度と基準温度との差分に基づいて、各アクチュエータへの補正力を自動的に演算し、それによって反射鏡アンテナの熱変形を補正するように構成したので、温度変化の激しい地域に設置した場合でも、常に所定の形状を維持することが可能となり、反射鏡アンテナの熱変形による像の広がりをも有効に軽減できる反射鏡アンテナ装置が得られる効果がある。

【0076】請求項4記載の発明によれば、反射鏡アンテナの表面変形をモード展開し、残留変形をあらかじめ指定された変形量以下とするために補正すべきモードを所定の順番に選び出して補正力を演算し、それに基づい

てアクチュエータを駆動するように構成したので、小さな力で効率よく変形の補正を行うことが可能となり、ノイズの影響も受けにくく、高い精度の鏡面を維持できる反射鏡アンテナ装置が得られる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による反射鏡アンテナ装置の反射鏡アンテナ部分を示す斜視図である。

【図2】 焦点面での光の像の光の強度分布を示す特性図である。

【図3】 熱変形を生じた反射鏡アンテナによる光の反射とその光強度分布を示す説明図である。

【図4】 鏡面変形に対する焦点の強度を示す特性図である。

【図5】 スタックの厚さ方向における線膨張係数分布を示す説明図である。

【図6】 この発明の実施の形態1によるスタックの配列方法を示す反射鏡アンテナ装置の平面図である。

【図7】 反射鏡アンテナの熱変形の一例を示す等高線図である。

【図8】 図7(a)に示す反射鏡アンテナの熱変形をX-Xで切断した断面図である。

【図9】 反射鏡アンテナの熱変形を示す説明図である。

【図10】 この発明の実施の形態2による反射鏡アンテナ装置を示す構成図である。

【図11】 その処理部の構成を示すブロック図である。

【図12】 その処理部による処理を示すフローチャートである。

【図13】 有限要素法を説明するための説明図である。

【図14】 図13とともに有限要素法を説明するための説明図である。

【図15】 この発明の実施の形態3による反射鏡アンテナ装置を示す構成図である。

【図16】 弦の振動の固有振動モードによる展開を示す説明図である。

【図17】 反射鏡アンテナの固有振動モードの一例を示す等高線図である。

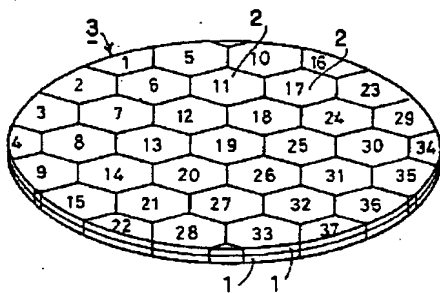
【図18】 図15に示す実施の形態3における処理部の処理を示すフローチャートである。

【図19】 従来の反射鏡アンテナ装置を示す説明図である。

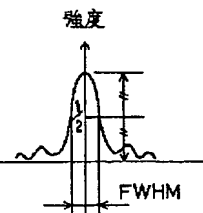
【符号の説明】

2 スタック（部分鏡材）、3 反射鏡アンテナ、4 温度センサ（温度測定手段）、5 アクチュエータ、9 アクチュエータコントローラ（制御手段）、10 メモリ（記憶手段）、11 CPU（演算手段）、12 鏡面変形測定装置（変形測定手段）。

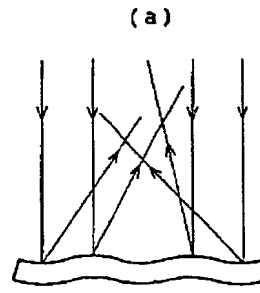
【図1】



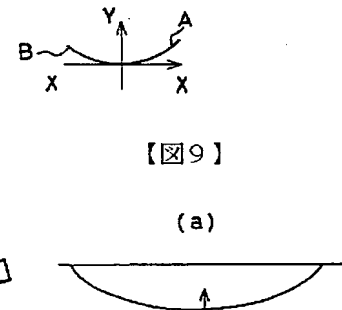
【図2】



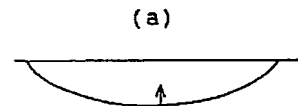
【図3】



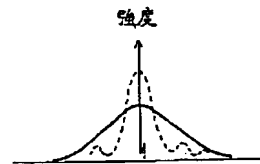
【図8】



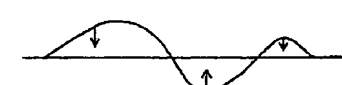
【図9】



(b)

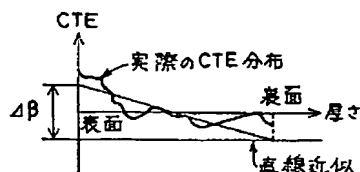


(b)

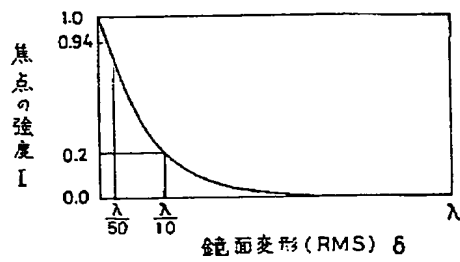


2 : スタック（部分鏡材） 3 : 反射鏡アンテナ

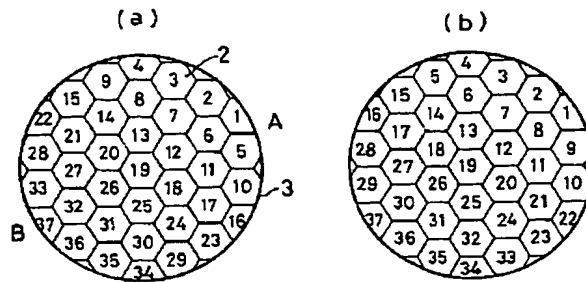
【図5】



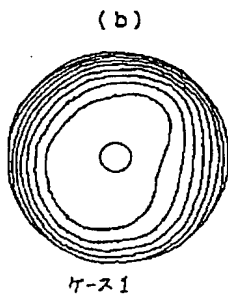
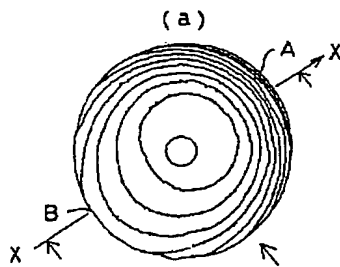
【図4】



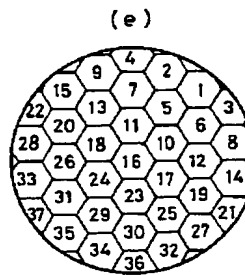
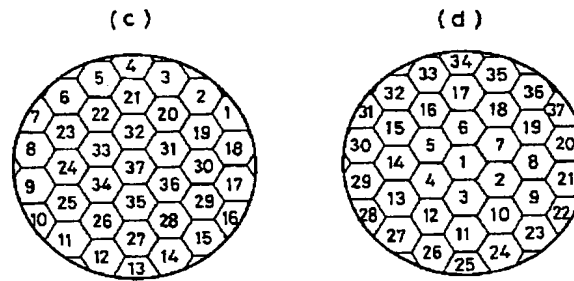
【図6】



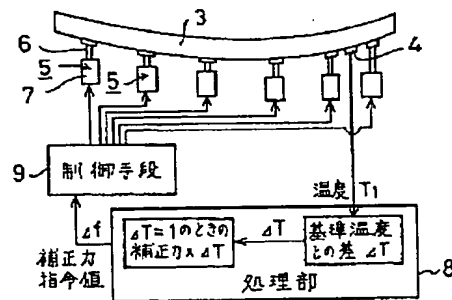
【図7】



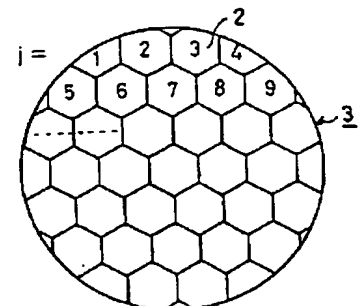
ケース1



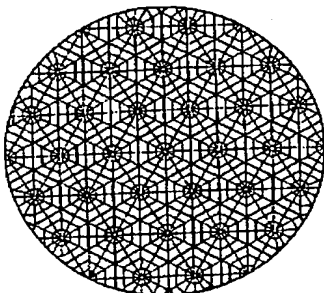
【図10】



【図13】

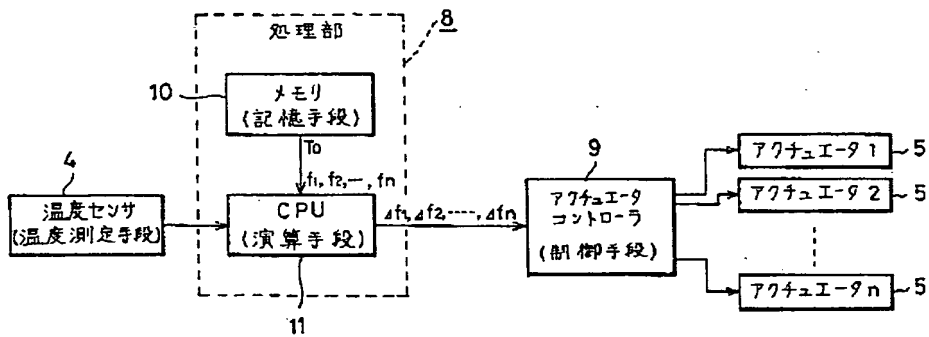


【図14】

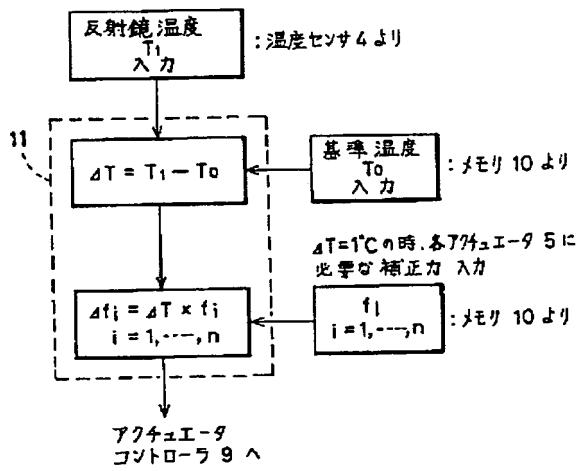


- 4: 温度センサ (温度測定手段)  
 5: アクチュエータ  
 9: アクチュエータコントローラ (制御手段)

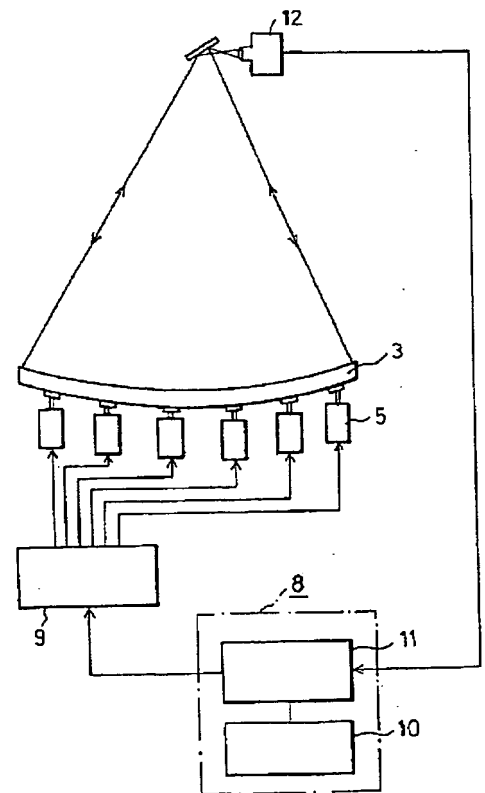
【図11】



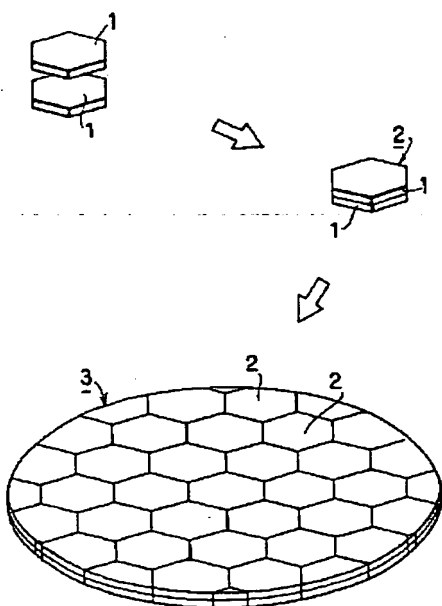
【図12】



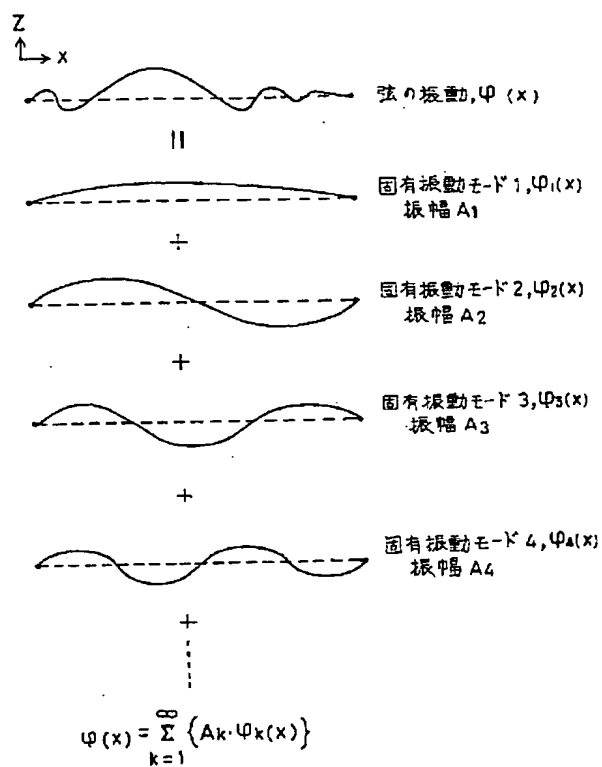
【図15】



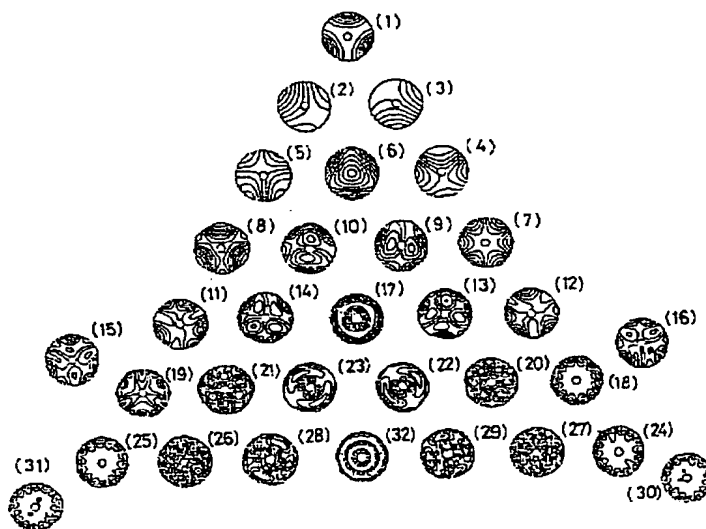
【図19】

12: 鏡面変形測定装置  
(変形測定手段)

【図16】



【図17】



【図18】

